

## MODELIZACIÓN DEL MILDIU DE LA VID

El mildiu es una enfermedad fúngica producida por el hongo ficomicete *Plasmopara viticola*. Originaria de América del Norte, se detecta en España (Barcelona) en 1880, siendo desde entonces una de las peores enfermedades del cultivo si las condiciones meteorológicas le son favorables. Las Estaciones de Avisos Agrícolas han ido estableciendo redes de estaciones meteorológicas con el objetivo de dirigir la lucha contra la enfermedad en base a modelos de predicción. La utilización del modelo EPI (fase invernal) puede complementar la eficacia del modelo de seguimiento de la duración del periodo de incubación de Goidanich utilizado hasta ahora.

### SINTOMATOLOGÍA:

Afecta a todos los órganos verdes de la cepa. En el haz de las hojas aparecen unas manchas amarillentas conocidas como "manchas de aceite", que se corresponden en el envés con una pelusilla blanquecina característica, que constituye la fructificación asexual del hongo. Al final del ciclo vegetativo, el crecimiento interno del micelio queda limitado por los nervios de las hojas, formando manchas reticuladas con aspecto de mosaico.

En los racimos, el período de floración-cuajado es el más peligroso. Cuando se aproxima la floración, los racimos infectados se curvan en forma de S, se secan los botones florales y se oscurece el raquis o raspajo. A partir del tamaño guisante, las bayas de los racimos afectados se van oscureciendo y secando sin que aparezca la fructificación del hongo.

### BIOLOGÍA:

El mildiu de la vid es un hongo endoparásito que ocupa el espacio intercelular de los tejidos que ataca. Pasa el invierno en forma de oospora o huevo de invierno, en hojas y restos vegetales en el suelo. El proceso de maduración de estas oosporas invernales se relaciona con las temperaturas y las precipitaciones, de tal forma que los inviernos suaves y lluviosos lo aceleran y favorecen. El hongo se desarrolla según las siguientes fases:

**Fase de contaminación:** En la primavera, una vez las oosporas llegan a su madurez, germinan emitiendo los macroconidios que a su vez darán las zoosporas. Estas podrán ser transportadas, generalmente por las salpicaduras de la lluvia, a las partes verdes de la cepa, donde en presencia de agua durante un mínimo de dos horas, germinan emitiendo un micelio que penetra por un estoma al interior de los tejidos vegetales. Se produce así una contaminación primaria, para la que se necesita aproximadamente unos 10 °C de temperatura, 10 cm de brotación y 10 mm de lluvia en un día. Estas infecciones primarias tienen gran importancia al inicio, ya que mediante ellas se establece el hongo en la vegetación.

**Fase de incubación:** El micelio se extiende intercelularmente hasta que culmina su desarrollo, apareciendo entonces las manchas de aceite en el haz de las hojas y la fructificación blanquecina en el envés o en los racimos, que constituye la fructificación asexual. Este período de incubación no es visible y tiene una duración de entre 4 y 21 días en función de las temperaturas y de las humedades relativas.

**Fase de esporulación:** Momento en que se produce la fructificación asexual; los conidióforos producen los conidios mediante los que se propaga el hongo durante el período vegetativo del cultivo.

**Fase de propagación:** Los conidios, transportados por la lluvia o el viento húmedo, son diseminados y si encuentran las condiciones necesarias producirán las zoosporas que iniciarán las contaminaciones secundarias. La sola presencia de agua de rocío durante más de dos horas puede ser suficiente para que se produzcan contaminaciones secundarias; en este caso,

tendrán una distribución más local pero podrán ir extendiéndose en los sucesivos ciclos. Las condiciones óptimas de propagación son las lluvias nocturnas o al amanecer, con las temperaturas entre 20 y 25 °C.

### **PERÍODOS DE SENSIBILIDAD DE LA PLANTA:**

La vegetación de la viña es sensible desde que la brotación llega aproximadamente a los 10 cm hasta el final del ciclo vegetativo, siendo máxima durante el período de mayor crecimiento de la planta y baja cuando éste se interrumpe. No obstante, si al final del verano se producen lluvias o altas humedades, pueden darse ataques tardíos que provoquen cierta defoliación y que permitan una importante presencia de inóculo para el año siguiente.

En cuanto al racimo, su sensibilidad empieza desde su formación y se mantiene muy alta hasta que las bayas llegan aproximadamente al tamaño de un guisante. A partir de ese momento, la sensibilidad disminuye paulatinamente, siendo el riesgo de ataque muy bajo cuando se llega al envero.

### **ESTRATEGIAS DE LUCHA**

El sistema tradicional ha consistido en efectuar tratamientos preventivos, en ocasiones en fechas fijadas por calendario, con escaso criterio técnico objetivo, simplemente intensificando el número de tratamientos cuando las primaveras eran más lluviosas. Este sistema implica efectuar un número mínimo fijo de tratamientos, que suelen ser demasiados y no siempre situados en el momento en que son más efectivos.

Los modelos de mildiu, partiendo de los conocimientos de su biología y del comportamiento del hongo, se basan en el seguimiento de las condiciones meteorológicas que los condicionan.

Básicamente se han desarrollado para tres momentos del ciclo biológico:

**Maduración de las esporas de invierno:** Valoración generalmente cualitativa de cuándo están maduras y son capaces de germinar y producir contaminaciones. Alguno de ellos añade también una valoración cuantitativa sobre la agresividad que pueden tener las primeras contaminaciones.

**Inicio de infecciones secundarias:** Según la temperatura y las horas de rocío valora la posibilidad de que se produzcan estas infecciones.

**Duración del período de incubación:** El más usado es el de Goidanich y por lo tanto el utilizado mayoritariamente por las Estaciones de Avisos Agrícolas.

En este artículo se va a tratar, en primer lugar, sobre un modelo matemático de seguimiento de las esporas invernantes del mildiu y, a continuación, sobre el modelo de duración del período de incubación durante la fase vegetativa de la vid.

### **EL MODELO EPI (fase invernal): LA EXPERIENCIA DEL PENEDÉS**

En la estrategia de lucha anti-mildiu juega un papel básico la detección de la aparición de las primeras infecciones, estrechamente ligada a las condiciones invernales de la oospora de mildiu.

El control de maduración de las oosporas invernales puede realizarse directamente, recogiendo oosporas conservadas en condiciones naturales, y forzar su maduración en condiciones de laboratorio. Este método, aunque eficaz, no deja de ser un tanto engorroso.

Un segundo método consiste en aplicar un modelo matemático, concretamente el modelo EPI mildiu (fase invernal) de evolución de las oosporas invernales. A continuación exponemos en qué consiste dicho método y el resultado de su aplicación en condiciones reales.

### **El modelo EPI mildiu (fase invernal)**

El modelo EPI mildiu (Estado Potencial de Infección) fue concebido por Serge Strizyk en Francia. La primera versión del sistema apareció en el año 1983 y posteriormente han ido surgiendo actualizaciones del mismo. La versión que utilizamos fue la publicada por B. Molot (ITV Nimes) en la revista "Progrès Agricole et Viticole", 1986, 103, nº 15-16, donde se describe detalladamente la metodología y las fórmulas necesarias.

El sistema está dividido en dos fases, la invernal (sexuada) y la estival (asexuada). En nuestro caso nos interesa solamente la fase invernal, que tiene en cuenta las condiciones meteorológicas (pluviometría y temperatura) durante la fase de maduración de las oosporas de invierno: de octubre a marzo. Durante esta fase, el modelo permite prever la agresividad potencial del mildiu al inicio de la fase vegetativa de la vid.

El sistema requiere, como referencia, una serie climática histórica de 20 a 30 años que aporte los siguientes datos: pluviometría media mensual, temperatura media mensual y nº medio de días de lluvia de cada mes. Para calcular cada año se requieren datos de: pluviometría (mensual y por décadas), temperatura media mensual y días de lluvia (mensual y por décadas).

Cada período invernal calculado se inicia con  $EPI = 0$ , considerando en iguales condiciones la espora de partida. El cálculo se inicia en el mes de octubre y finaliza en el mes de marzo. Al final de cada mes obtenemos un valor de EPI que se va acumulando. En marzo se obtiene un valor final comprendido entre  $-20$  y  $+20$ , que nos da una estimación del porcentaje de huevos de invierno viables. Esta información nos permite tener una previsión teórica sobre la frecuencia probable de focos primarios, como complemento de los demás controles realizados. Los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- 20 < EPI < -10: Riesgo muy bajo, debido a una muy débil viabilidad de los huevos de invierno. Un período de lluvias no presenta riesgo.
- 10 < EPI < -5: Riesgo débil, aunque se podrán encontrar algunos focos primarios esparcidos.
- 5 < EPI < 5: Riesgo medio aunque suficiente para tener focos generalizados, pudiendo ser localmente importantes. Una lluvia es suficiente para su aparición.
- 5 < EPI < 10: Riesgo importante. Una lluvia provocará una aparición generalizada de focos virulentos.
- 10 < EPI < 20: Riesgo muy alto. Toda lluvia comportará una salida intensa de focos primarios muy virulentos.

### **Resultados de la aplicación del Sistema EPI invernal en las condiciones del Penedés**

Durante los últimos años se ha ido contrastando el modelo EPI de invierno en la zona vitícola del Penedés, con el objetivo de comprobar el grado de ajuste del sistema a las particulares condiciones de la comarca.

Los datos meteorológicos se toman del observatorio situado en la Estación Enológica de Vilafranca del Penedés (INCAVI), el cual dispone de una serie histórica de más de 70 años. Se compara la previsión que indica el modelo EPI invierno para cada campaña con la situación real que se produce. El estudio se ha realizado tomando datos de los últimos 20 años: 1984-2004 y se presenta en el cuadro adjunto.

Los resultados obtenidos nos muestran que hay muy buen ajuste del sistema a nuestras condiciones. De los 20 años observados, en sólo dos ocasiones (1989 y 1999) ha habido una gran discordancia entre el valor de EPI obtenido y lo sucedido en la realidad. En ambos casos, el desajuste se ha producido por defecto - obtención de un valor bajo de EPI, pero aparición

temprana de infecciones primarias -, lo cual hace que sea más peligroso que si el error se hubiera producido por exceso. En otros dos casos (1992 y 2001) podemos considerar que la previsión anunciada por el valor de EPI se ha ajustado parcialmente a la realidad. En los 16 años restantes, el ajuste ha sido perfecto.

En tres de los años en que el valor de EPI ha sido positivo (1988, 2003 y 2004), precipitaciones muy inferiores a 10 mm (entre 3 y 5 mm) han provocado la aparición generalizada de infecciones primarias. Este dato cuestiona la teoría de que, para que se produzca la salida de las primeras infecciones, se requiere una precipitación de 10 mm. La situación se ha confirmado en otras zonas vitícolas de Tarragona.

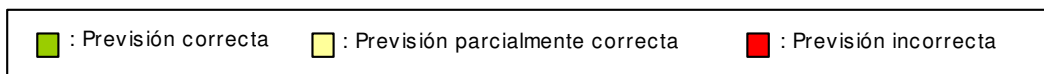
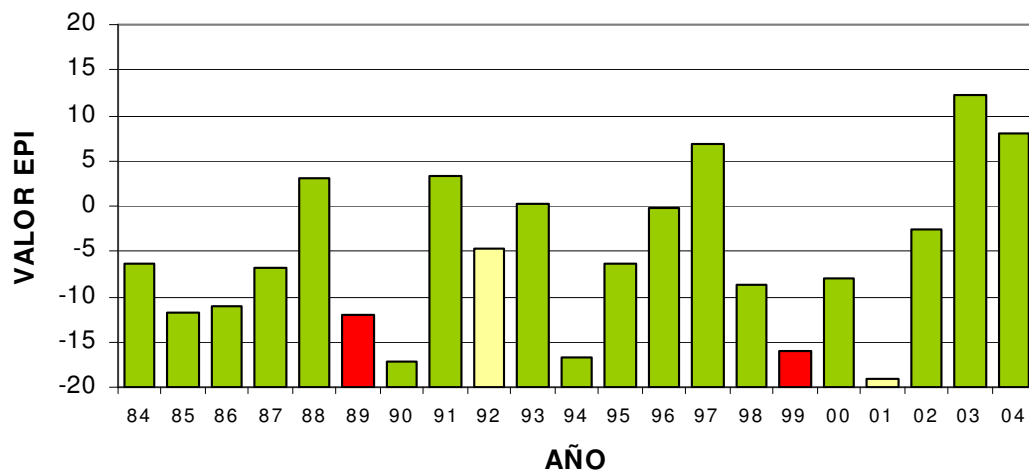
Hay que tener muy en cuenta que el nivel de EPI nos informa únicamente sobre el grado de maduración de la oospora invernal. La incidencia final de la enfermedad durante la campaña dependerá también de las condiciones meteorológicas (principalmente lluvias) que se vayan produciendo. La información que nos facilita el sistema hay que considerarla únicamente de manera orientativa y complementaria de todo el conjunto de observaciones y cálculos que se realizan durante la campaña.

Resultados obtenidos durante el período 1984-2004. Vilafranca del Penedés:

Año	Valor EPI	Situación real	Previsión
1984	- 6.35	Escasas infecciones primarias y de aparición tardía	Correcta
1985	- 11.7	Escasas infecciones primarias y de aparición tardía	Correcta
1986	- 11.16	Escasas infecciones primarias y de aparición tardía	Correcta
1987	- 6.81	Escasas infecciones primarias y de aparición tardía	Correcta
1988	+ 3.13	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras y escasas lluvias primaverales (3 – 5 mm)	Correcta
1989	- 12.08	Infecciones primarias a partir de primeras lluvias primaverales	Incorrecta
1990	- 17.21	Escasas infecciones primarias y de aparición tardía	Correcta
1991	+ 3.41	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras lluvias primaverales	Correcta
1992	- 4.71	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras lluvias primaverales	Parcialmente correcta
1993	+ 0.26	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras lluvias primaverales	Correcta
1994	- 16.64	Escasas infecciones primarias y de aparición tardía	Correcta
1995	- 6.25	Una única y débil infección primaria a partir de las primeras lluvias primaverales	Correcta
1996	- 0.25	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras lluvias primaverales	Correcta
1997	+ 6.82	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras lluvias primaverales	Correcta
1998	- 8.6	Escasas infecciones primarias y de aparición tardía	Correcta
1999	- 16	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras lluvias primaverales	Muy incorrecta
2000	- 8.1	Una infección primaria a partir de las primeras lluvias primaverales	Correcta
2001	- 19	Algunas infecciones primarias débiles a partir de primeras lluvias primaverales	Parcialmente correcta
2002	- 2.6	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras lluvias primaverales	Correcta
2003	+ 12.2	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras y escasas lluvias primaverales (3-5 mm)	Correcta
2004	+ 8.06	Infecciones primarias generalizadas a partir de primeras y escasas lluvias primaverales (3-5 mm),	Correcta

		cuando la vegetación tenía escasamente 10 cm de longitud	
--	--	--	--

### Valor EPI invernal Vilafranca del Penedés (1984-2004)



### SEGUIMIENTO DE LA DURACIÓN DEL PERÍODO DE INCUBACIÓN (GOIDANICH)

Se trata del modelo seguido durante muchos años por las Estaciones de Avisos Agrícolas con el objetivo de introducir la Lucha Dirigida, lo que ha permitido racionalizar la ejecución de los tratamientos al poder centrarlos en los momentos oportunos y reducir su número al mínimo indispensable.

Para seguir la evolución del hongo, una vez constatada la primera infección procedente de las oosporas invernantes, es necesario conocer diariamente la

temperatura media ( $T_m$ ), la humedad relativa media ( $H_m$ ) y la lluvia. Goidanich presenta una tabla de evolución diaria en la cual, por cada temperatura, se fija un crecimiento diario del hongo según la  $H_m$  sea alta o baja. El autor define que la  $H_m$  es alta en los días nublados con diferencia térmica baja, a la vez expresa como  $H_m$  baja la que se produce en los días serenos con diferencia térmica alta. Se utiliza así la tabla en la que por cada  $T_m$  hay dos columnas, una cuando la  $H_m$  es inferior al 75% y la otra cuando es superior al 75%, proporcionando, pues, dos valores numéricos de desarrollo diario para una misma temperatura según sea la  $H_m$ .

Cuando se produce una contaminación por una lluvia cercana o superior a los 10 litros, a partir del día siguiente se inicia la valoración del crecimiento diario, el cual se irá sumando cada día hasta llegar al valor 100, momento en que el período de incubación teórico finaliza y la contaminación del hongo se evidencia por la aparición de las manchas de aceite y la fructificación asexual.

Tanto por ciento diario de desarrollo del mildiu según Goidanich:

T media (°C)	% diario desarrollo Hm<75%	% diario desarrollo Hm>75%	T media (°C)	% diario desarrollo Hm<75%	% diario desarrollo Hm>75%
12		0,00	19		12,50
	25	4,40		25	12,90
	50	4,70		50	13,40
	75	5		75	13,70
13		5,30	20		14,20
	25	5,70		25	14,50
	50	6		50	14,80
	75	6,30		75	15
14		6,6	21		15,30
	25	6,8		25	15,70
	50	7,10		50	16
	75	7,30		75	16,30
15		7,60	22		16,60
	25	7,80		25	17
	50	8,10		50	17,30
	75	8,30		75	17,70
16		8,50	23		18,10
	25	9		25	18,10
	50	9,30		50	18,10
	75	9,60		75	18,10
17		10	24		18,10
	25	10,30		25	17,70
	50	10,50		50	17,30
	75	10,75		75	16,60
18		11,10	25		22,20
	25	11,48	Nota.- A partir de 25°C el desarrollo es constante		
	50	11,70			
	75	12,10			

La estrategia de lucha en base a este modelo debe tener las siguientes consideraciones:

- Es necesario disponer de una red de estaciones meteorológicas, suficientemente extensa, que permita recoger las diferencias climáticas de las diversas subzonas de una determinada comarca vitícola. Se dispone de dos tipos de observatorios: manuales o automáticos. En el primer caso se requiere la colaboración de viticultores que, de esta manera, se implican y colaboran en la recogida de datos. Durante los últimos años ha ido en aumento el número de observatorios automáticos, cuyos datos pueden consultarse a través de Internet.
- Un factor básico para el éxito de este sistema es la localización de las primeras manchas de mildiu (infecciones primarias). En este aspecto es imprescindible, también, la colaboración de los viticultores de cada zona.
- Excepto en el período más sensible de la floración, momento en el cual se aconseja como norma fija un tratamiento en muchas zonas vitícolas, los avisos deben ser preferiblemente “preventivos”, es decir, antes de que se produzca la infección impidiendo la germinación de las zoosporas. Por eso, el modelo de Goidanich nos permite conocer cuándo se producirá una fructificación asexual y por lo tanto podremos intervenir antes de llegar al valor 100 de desarrollo. Tratando los días previos a ese momento impediremos la germinación de las zoosporas que saldrán.
- Cuando hay presencia de manchas y fructificaciones de diferentes infecciones, la aparición y germinación de zoosporas será también constante, con ciclos solapados sobre

el vegetal, lo cual dificulta su control. Es este caso, los tratamientos serán normalmente mixtos, es decir, preventivos y curativos a la vez.

- Actualmente existe una gran variedad de productos antimildiu, que pueden agruparse, según su modo de acción, en productos de contacto, penetrantes y sistémicos. Esta amplia gama de productos permite superar todas las dificultades en el control de la enfermedad, siempre que sean utilizados adecuadamente. En este sentido, los penetrantes y sistémicos, que presentan una buena eficacia curativa o “stop” de las infecciones, sólo deberían usarse en los momentos estrictamente necesarios, basando la estrategia antimildiu en la lucha preventiva, evitando también de esta manera la aparición de resistencias.
- La capacidad actual de informar con rapidez a los agricultores sobre los avisos ha mejorado de forma definitiva. Los contestadores automáticos, los correos electrónicos e incluso los avisos SMS por telefonía móvil permiten actualmente a las Estaciones de Avisos Agrícolas una agilidad extraordinaria en su asesoramiento a los productores.

Resumen de los avisos sobre el mildiu dados en los últimos 20 años en la Estación de Avisos de Tarragona para las 5 comarcas vitícolas:

ANY	CAMP DE TARRAGONA			CONCA DE BARBERÀ			RIBERA D'EBRE			PRIORAT			TERRA ALTA		
	G	L	O	G	L	O	G	L	O	G	L	O	G	L	O
1985	2	1	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1988	6	0	1	5	1	1	4	1	2	4	1	2	3	0	3
1989	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0
1990	1	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
1991	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	4	0	1	3	0	0	3	0	1	2	0	1	2	0	1
1993	3	0	1	0	0	2	1	0	0	1	0	0	1	0	0
1994	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
1995	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	2	1	0	3	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
1997	2	2	0	4	0	0	3	0	1	3	0	1	3	0	1
1998	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
1999	2	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
2000	2	1	0	2	0	0	3	0	0	2	1	0	1	2	0
2001	0	4	0	1	0	2	2	1	0	2	1	0	2	1	0
2002	2	0	0	1	0	0	2	0	1	2	0	1	2	0	1
2003	3	0	1	2	1	0	1	0	2	2	0	0	1	1	2
2004	4	1	0	4	0	0	3	1	2	4	1	0	4	0	2
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>35</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>30</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>12</b>
<b>Media</b>	<b>1,85</b>			<b>1,75</b>			<b>1,5</b>			<b>1,5</b>			<b>1,25</b>		

G: tratamiento general en toda la comarca. L: tratamiento local a causa de precipitaciones localizadas  
 O: tratamiento opcional sólo para los casos que tengan presencia más o menos abundante de manchas, incluyendo la posibilidad de tratamiento contra mildiu tardío.



Considerando que la media de los tratamientos que tradicionalmente se han realizado contra esta enfermedad han sido de entre 4 y 5 anualmente, y comparándolos con las medias de los tratamientos generales aconsejados en las diferentes comarcas durante los 20 años contabilizados, vemos una importante reducción. De cara a la eficacia del sistema, debe considerarse además que los aconsejados están centrados en el momento oportuno para obtener un buen control de la enfermedad.